

Pourquoi les ouvrages souterrains doivent-ils être planifiés comme des projets multifonctionnels ?

Why underground works must be planned as multipurpose projects?

Pierre DUFFAUT
COMES (Comité Espace Souterrain de l'AFTES) /
COMES, Underground Space committee of AFTES,
French Tunneling and Underground Space Association

La plupart des ouvrages souterrains sont dédiés à une seule fonction, tel un tunnel de métro sous toute une largeur de rue, etc. A l'inverse, la plupart des espaces souterrains privés ont des usages divers, par exemple garages, dépôts, etc. Nombre de projets de tunnels sont rejetés par les riverains parce qu'ils n'en voient aucun avantage pour eux-mêmes. Sont montrés ici quelques exemples d'une intégration réussie d'ouvrages publics et privés, tel celui des Halles à Paris ; mais les contre-exemples sont bien plus nombreux.

L'article met l'accent sur un projet de tunnel ferroviaire entre la France et l'Espagne, à travers la partie centrale du massif des Pyrénées, en suivant une vallée étroite qu'il devra franchir à moins de 100 mètres de profondeur là où elle s'élargit en une grande station de sports d'hiver. Le but de cette étude est d'offrir aux parties de nouvelles possibilités d'infrastructures utiles qui, longtemps encore après leur création, amélioreront leur qualité de vie tant au niveau familial que communautaire.

Pour être acceptée, toute construction nouvelle doit apporter quelque chose de plus à ses riverains. Ainsi, devons-nous toujours planifier des structures souterraines à usages multiples, privées, publiques ou mixtes. Les coûts additionnels sont faibles mais les avantages sont immenses.

1 - Introduction

Nombre d'ouvrages et d'aménagements, y compris souterrains, sont plus ou moins multifonctionnels, mais cette qualité n'a pas toujours été le facteur déterminant pour en lancer la construction. Une rue ordinaire donne un bon

exemple d'ouvrage multifonctionnel en ce qu'elle fournit un service à une grande diversité d'utilisateurs qui diffèrent par leur taille, leur poids, leur vitesse et leur force. Sous les rues de Paris, les égouts abritent depuis longtemps, en plus de leur fonction initiale, des conduites d'eau, d'air

Most of public underground works are devoted to only one function, say a metro tunnel below the whole street width, etc. Conversely most private underground spaces are shared between diverse uses, say garages, warehouses, etc. Many tunnel projects are rejected by communities above them, because they do not see any benefit for them. Some cases will be shown of a right integration of public and private complexes, as Paris Les Halles; but counter examples are many more.

The paper focuses on a rail tunnel project from France to Spain, to be bored through about the middle of the Pyrenees mountain range, which could follow close to a narrow valley and cross below it when it widens into a big ski resort, at less than 100 m depth. The aim of the study is to offer each community new opportunities of useful facilities which will improve their way of life as well at family and community level, long after completion of the works.

In order to be accepted, any new facility must do something more for its neighbours. Let's always plan multipurpose underground facilities, either private or public or shared. Extra costs are light, extra benefits are huge.

1 - Introduction

Many works and facilities are more or less multipurpose, including underground ones, but this quality has not always been the main incentive to start the project. A regular street makes a good example of a

multifunction facility as it serves a wide variety of users differing by their overall dimension, weight, speed and momentum. Below the streets, the Paris sewers have for long harboured such utilities as water mains, compressed air, gas pipes and various wires, in addition to their first function

La version anglaise correspond au texte original de la conférence prononcée par l'auteur au Congrès de l'ACUUS à Shenzhen en 2009. La traduction/adaptation et la publication en français par T&ES ont été autorisées par l'auteur et par le professeur Qian Qihu ; en raison du délai écoulé, le texte a également été mis à jour par l'auteur que nous remercions ici. The English version corresponds to the original text of the conference given by the author during the ACUUS Congress in Shenzhen (2009). Translation/adaptation and publication in French by T&ES have been authorized by both the author and Prof. Qian Qihu; due to the time elapsed from the date of the paper, the text has also been updated by the author whom we wish to thank for his contribution.

comprimé, de gaz et des câbles divers, (certains sont aujourd'hui abandonnés depuis des décennies tandis que les nouveaux prévoient des espaces réservés à l'intérieur). Le Projet national français « Clé de Sol » (Collectif, 2005) a démontré que dans de nombreux cas, les « utilidors » offrent une solution bien meilleure que la solution traditionnelle, de réseaux séparés enterrés sous les rues et les trottoirs.

Un nouveau projet de recherche à plus large échelle est actuellement en cours de préparation en France afin d'étudier comment planifier globalement les diverses utilisations du sous-sol des villes, en partageant les coûts entre les différents utilisateurs dans une approche gagnant-gagnant.

Il y a quelques années, le projet d'une nouvelle liaison ferroviaire vers l'aéroport Charles de Gaulle de Roissy qui devait traverser en tunnel les banlieues nord-est de Paris, fut rejeté par les habitants en dépit du très faible niveau de dommages qu'ils auraient eu à subir, bien moindres qu'avec une solution en surface ou en viaduc (qu'ils auraient d'ailleurs également rejetés). Cela signifie que les communautés tendent à rejeter les projets qui ne leur apportent aucun bénéfice, appliquant ainsi plus ou moins consciemment un principe de « ne touchez pas à mon espace souterrain » ; ils considèrent simplement que leur espace souterrain est une sorte d'extension de leur propriété et ils appliquent au souterrain le syndrome bien connu du « nimby » (not in my backyard). Ainsi, pour être accepté, tout ouvrage neuf doit apporter quelque chose, en fait quelque chose de plus, aux riverains les plus proches. L'exemple présenté ici est celui d'un projet de traversée ferroviaire à travers la chaîne des Pyrénées, rejeté par les habitants des vallées concernées alors même que la ligne est prévue en souterrain soit à travers les flancs des montagnes soit sous le fond de vallée ; des propositions de travaux dont bénéficieraient les villages et stations

concernés pourraient changer leur perception et les faire adhérer au projet à moindre coût.

2 - Situation actuelle

2.1 - Exemples positifs

De nombreux exemples positifs de projets polyvalents en souterrain peuvent être cités, parmi lesquels :

1) Le parc de stationnement souterrain sous le boulevard Haussmann à Paris, construit en même temps que le tunnel du Metro Régional Express RER ; grâce à cette double fonction, l'excavation du parking n'a pas nécessité de travaux véritablement souterrains et n'a causé ainsi aucun dommage aux immeubles mitoyens.

2) La construction de la station centrale du RER à l'ancien emplacement du marché des Halles de Paris est devenue possible lorsque le marché a été transféré en banlieue sud, à Rungis. Au lieu d'avoir à réaliser des travaux souterrains très difficiles pour cette station à 7 voies, une grande excavation fut réalisée à l'emplacement des anciens pavillons. L'espace entre la surface et la station RER fut utilisé pour divers usages, en particulier des magasins. Cet exemple montre aussi qu'il est nécessaire de disposer d'un complexe assez grand pour satisfaire les règles de sécurité.

3) Beaucoup d'autres exemples d'aménagements souterrains à l'étranger peuvent être cités, tels que des parcs de stationnement et des salles de sport dans les pays scandinaves, des centres commerciaux couplés avec des gares de trains ou de métros dans des mégapoles japonaises, des extensions de musées (le Smithsonian à New-York) ou de bibliothèques (la Royal Library à Stockholm), etc. Le projet Central Artery à Boston (remplacement d'un immense viaduc par une autoroute souterraine) a fourni l'occasion de réinstaller tous les réseaux au-dessus du tunnel.

(some have quit along decades, and new ones ask now for some room inside). The French research project "Clé de Sol" (Collective, 2005) has proved that in many cases, utilidors are a better alternative than the common practice of networks separately embedded under street roadways and pavements.

A new research project is now prepared in France at a wider scale, in order to study how to plan together the uses of the subsurface of cities, sharing the costs between many diverse users in a win-win approach.

A few years ago the project of a new rail link to Roissy airport (CDG for Charles de Gaulle) crossing in tunnel below the north eastern suburbs of Paris, was rejected by the communities above it, in spite of the very low level of damage it was supposed to produce for them, by far lower than any surface or viaduct crossing (which were to be rejected either). That means that communities tend to refuse projects which do not bring them any benefit, applying more or less consciously a "do not touch my underground space" principle. They just consider their subsurface space as another backyard and extend downwards the well known nimby syndrome (not in my backyard). In order to be accepted, any new facility must bring something, in fact something more, for its closer neighbours.

The case presented is a rail crossing project through the Pyrenees mountain range, rejected by the communities along the valleys, even when the line is designed underground, either through the mountains aside, or below the valley floor. Proposals of works benefiting to those villages and resorts could change their feelings and make them adhere to the project, at a minimal cost.

2 - Present state

2.1 - Positive examples

Many examples may be quoted of positive multipurpose underground projects, among them:

1) the car park under Paris Boulevard Haussmann, built together with the regional express metro (RER) tunnel: thanks to this dual purpose, the excavation did not need any true underground work and caused not any harm to buildings on either side.

2) the central RER station at the former location of the Paris food market "Les Halles" was made possible when the market was sent to Rungis southern suburb. Instead of very difficult underground works for a seven tracks station, a big hole was dug after removal of the former "pavillons". The space between the surface and the station has been filled up with retail shops and many other uses. This example shows that it needs a big enough complex in order to meet the safety requirements.

3) many more examples could be quoted from abroad, such as underground car parks and sport halls in Scandinavian countries, commercial malls associated to main railway and metro stations in Japanese mega cities, extensions of museums (the Smithsonian in New York) and of libraries (the Royal Library in Stockholm), etc. The Central Artery in Boston (turned from a huge viaduct to below ground) provided an opportunity of reshaping all utility networks across it. The SMART project at Kuala Lumpur (Malaysia) began as a storm water tunnel, 9.7 km long, to solve the problem of flash floods inside the city. Along 3 km it is the longest multi-purpose tunnel in the world; thanks to a unique feature: a section of this project serves to reduce traffic jams along Jalan Sungai Besi and Lok Yew flyover at Pudu during rush

A Kuala-Lumpur (Malaisie), le projet SMART était à l'origine une galerie d'évacuation d'orages de 9,7 km de longueur, destinée à résoudre les problèmes d'inondations dans la ville. Mais sur 3 km, il est aussi le plus long tunnel multi-usages du monde, grâce à cette caractéristique unique : une partie de l'ouvrage sert à réduire les embouteillages aux heures de pointe sur Jalan Sungai Besi et le viaduc de Lok Yew à Pudu, grâce à une autoroute à deux niveaux superposés située dans la galerie d'orage de 11,83 m de diamètre. Ce système SMART fonctionne ainsi selon trois modes différents en fonction du débit d'orage au confluent des deux rivières Klang et Ampang et du trafic automobile sur l'autoroute.

2.2 - Exemples négatifs

Inversement, et surtout pour de très grands projets, il est facile de trouver des exemples négatifs.

1) A Paris, la plupart des parcs de stationnement souterrains n'offrent aucune autre fonctionnalité que celle de garer sa voiture (quelques-uns proposent certains services liés seulement à l'automobile) alors que - comme proposé lors de la conférence « Espace et Urbanisme Souterrains », Paris, 1995 - ils pourraient servir d'accès sécurisés aux stations de métro pour les piétons, d'accès voitures aux parkings situés sous les immeubles proches, d'aires de chargement pour les magasins voisins ou même, pendant leur construction, d'accès provisoire aux espaces situés sous les immeubles mitoyens.

2) Le fameux projet LASER n'a jamais été pris en considération par la Mairie de Paris (ni par les parisiens) ; on peut penser que si le projet, outre sa fonction liée à la circulation automobile, avait prévu d'héberger également les collecteurs principaux de divers réseaux utilitaires, cela aurait pu aider à son adoption. Nul doute que la plupart des réseaux de service allaient

avoir besoin de tels collecteurs dans les années à venir ; beaucoup de tranchées ouvertes le long des rues et des trottoirs auraient pu être évitées. Le projet LASER fut présenté en 1977 par l'entreprise privée « Grands Travaux de Marseille » pour résoudre les problèmes de circulation dans Paris ; ce projet d'autoroute à péage entièrement souterrain préservait le système radial des routes nationales et des autoroutes et reposait sur quatre innovations principales : tunnel réservé aux véhicules légers (pas de camions) - deux chaussées superposées donc indépendantes logées dans un tunnel foré au tunnelier ; un échangeur unique entre cinq branches radiales grâce à un anneau intérieur relativement court ; environ 20 points d'accès répartis sur une surface de 100 km² à l'intérieur de Paris avec de longues rampes reliées à des parcs de stationnement. En dépit du fait qu'à ce moment-là le tunnel sous la Manche venait d'être achevé avec succès et que les équipes étaient prêtes à engager les travaux, le projet fut abandonné. Plus tard, à l'ouest de Paris, pour franchir des collines à l'habitat résidentiel, le projet de l'autoroute A86 appliqua le principe de deux niveaux de circulation superposés dans un tube unique qui améliore la sécurité en évitant tout croisement (la section allant de Bougival à l'autoroute A13 fut ouverte le 26 juin 2009 ; la section restante jusqu'au Pont Colbert le 8 janvier 2011).

3) Certains grands espaces ont été dégagés dans Paris même vers la fin du 20^{ème} siècle, tels l'usine Citroën et le marché aux vins de Bercy ; la Ville les a convertis en espaces verts, ce qui est un bon choix, mais elle a manqué l'occasion de loger en souterrain un grand nombre de réseaux avant d'achever les jardins. Plus récemment, un nouveau quartier de Paris a été construit sur la partie amont de la « Rive gauche », situé en partie sur une dalle générale au-dessus des voies de la Gare d'Austerlitz. Entre les voies et

hours: a double-deck motorway is introduced inside the storm water tunnel with a diameter 11.83m. The operation of the SMART system works along three modes depending on the flood discharge at the Klang River / Ampang River confluence and the operation status of the motorway.

2.2 - Negative examples

Conversely, and the more for the wider projects, negative examples are easy to discover:

1) Most Paris underground car parks failed to offer any other function than parking cars (a few provide some services, for cars only). Instead, as listed in a poster at the 1995 Paris conference "Espace et urbanisme souterrain", they could provide safe pedestrian ways to metro stations, motor vehicle access to the basements of buildings, loading bays for the shops along the street and even, during construction, a transient access to volumes below the roadside buildings.

2) The famous LASER project failed to obtain recognition from the Paris mayor (and from its inhabitants); one may think that the proposal to host the major arteries of various utility networks in addition to the car traffic could have helped it to be accepted. Clearly most of utilities were to need such new arteries within a few years and many opening of trenches along the roadways and sidewalks would have been avoided. LASER was presented in 1977 by private company "Grands travaux de Marseille" to solve the traffic problems inside Paris; this fully underground toll motorway system preserved the radial setting of the main national roads and motorways and rested on four main innovations: the tunnel is reserved to low vehicles (no trucks), two superimposed and independent one-way roadways inside a TBM bored tube; one general interchange

between five radial branches through a rather short inner ring; about 20 access points on the 100 km² area inside Paris through long ramps connected to car parks. In spite of the successful completion of Channel tunnel at the time, the teams of which were ready to make the job, the project flopped. Later, west of Paris, in order to cross a hilly residential zone, the ring motorway A86 applied the concept of two traffic levels inside a single tube, which increases the safety by escaping any crossing (the section from Bougival to A13 motorway opened 26 June 2009; completion up to Pont Colbert (A12) in January 2011).

3) Some wide spaces have been cleared inside Paris proper about the end of 20th century, such as the Citroën car factory and the Bercy wine market; the city turned them into new green spaces, which was a very good attribution, but the opportunity was missed to place a lot of services underground before completing the gardens. More recently a new district has been built on the upstream part of the "left bank", partly upon a general slab over the Austerlitz station tracks. In between the tracks and the river, an underground motorway had been suggested but it soon disappeared from the files.

2.3 - Special problems

Special problems may arise from the natural relief of a city: the subsurface of any hill enjoys many interesting qualities such as natural drainage and level access (which means that no energy is needed to get out, whatever for breakdown vehicles or disabled pedestrians) contrary to the case of underground facilities below plains and lowlands. Other problems come from ancient mines and quarries: in most of cases, as inside Paris, the shape of mine voids and their

la Seine, il avait été suggéré de réaliser une autoroute souterraine mais le projet a disparu très tôt des dossiers.

2.3 - Problèmes particuliers

Des problèmes particuliers peuvent survenir, liés au relief naturel d'une ville : le sous-sol d'une colline présente d'intéressantes qualités telles que le drainage naturel et l'accès à niveau (cela signifiant qu'aucune énergie n'est nécessaire pour sortir, qu'il s'agisse d'un véhicule en panne ou d'une personne handicapée) contrairement au cas de structures enterrées sous des plaines ou des régions plates. D'autres problèmes sont ceux d'anciennes mines et carrières : dans de nombreux cas, tels qu'à Paris, la forme des excavations minières et leur stabilité à long terme discutable font qu'elles ne sont pas propices à un quelconque usage ultérieur. Par exception, quelques carrières de gypse autour de Paris fournissent d'immenses cavernes qu'il est facile d'utiliser à des fins intéressantes (y compris pour des installations de défense civile). Cependant, réutilisation ne signifie pas exactement usage multiple, sauf quand le promoteur commence par exploiter une carrière pour des matériaux de valeur et qu'ensuite il les transforme en exploitations industrielles ou commerciales comme cela a été fait à Kansas City, Missouri. On peut aussi rappeler l'exemple ancien des habitations et des boutiques installées sur des ponts. Aujourd'hui, quelques ponts comportent plusieurs niveaux superposés avec des trafics différents tels qu'un métro circulant au-dessus d'une route pour deux ponts de Paris. Il existe d'autres cas de superposition de trafics, par exemple en couvrant une tranchée par des voies routières ou ferrées. Les voies de la gare Montparnasse, par exemple, sont recouvertes d'une mégastructure comportant une immense parc de stationnement et, au-dessus, un magnifique jardin public.



Figure 1 : La chaîne des Pyrénées constitue une barrière naturelle – beaucoup plus large (plus de 200 km) dans sa partie est, qui s'étend sur 400 km de côte à côte entre l'Espagne au sud et l'Europe continentale au nord et entre la mer Méditerranée à l'est et l'océan Atlantique à l'ouest / The Pyrenees mountain range is a natural barrier extending on 400 km long coast to coast between Spain south and continental Europe north, between Mediterranean sea east and Atlantic ocean west, far wider in its eastern part, more than 200 km.

3 - Le projet de tunnel pour la traversée centrale des Pyrénées

3.1 - Les passages transpyréniens au cours du temps

Comme celle des Alpes, la chaîne pyrénéenne est nettement dissymétrique, le versant le plus raide étant ici le versant français, là le versant italien. Comme pour les Alpes, la zone axiale (et culminante) est formée de roches ignées entre, de chaque côté, des zones de terrain sédimentaire plissées. Le relief découle essentiellement de l'érosion de glaciers bien qu'il n'en subsiste aujourd'hui que quelques très petits, autour des pics les plus élevés. Leurs ancêtres ont calibré de grandes vallées glaciaires, dans lesquelles s'écoulent les rivières principales sur le flanc nord, depuis, à l'ouest, les Gaves et les Nestes (noms locaux) jusqu'à la Garonne et l'Ariège et, à l'est, le Carol (petit sous-affluent de l'Ebre). Les cols des Pyrénées sont appelés des Ports, c'est-à-dire des passages naturels entre les hautes vallées des deux versants. Les premières routes romaines franchissaient le massif pyrénéen près de ses deux extrémités, à l'ouest à Roncevaux, col situé à 1057 m d'altitude (que suivront plus tard les pèlerins de Compostelle) et à l'est le Perthus à 290 m d'altitude. Les premières voies ferrées reliant la

questionable long term stability prove not convenient for any re-use later. By exception, some gypsum quarries around Paris provide huge caverns easy to turn into useful functions (including defence facilities). However, re-use is not exactly multipurpose use, except when the developer begins by quarrying a valuable material before turning the space into commercial or industrial facilities, as is done in Kansas City, Missouri. One may also recall the ancient example given by shops and homes built on river bridges. Today, some multi-storey bridges harbour various traffics one over the other; as metro viaduct over the roadway on two Paris bridges. Other cases of superimposition are covering of trenches which harbour rail or roadways. The train tracks of Paris Gare Montparnasse are covered under a mega structure offering a huge car park space and a nice public garden on top.

3 - The central trans pyrenees tunnel project

3.1 - Outline of Pyrenees crossings along time

Like the Alps, the Pyrenees range is markedly dissymmetrical, the steepest side being the French here instead of the Italian there. As for the Alps, the axial zone (the highest too)

is made of igneous rocks between folded sedimentary formations on either sides. The relief mostly derives from glacier erosion though very few tiny ones remain today around the highest peaks. Their forerunners calibrated great glacial valleys, accommodating the main rivers on the north side, from western Gaves and Nestes (local river names) to Garonne, Ariège and eastward Carol (a small sub tributary of southern Ebre river, Spain). Pyrenean passes are named Ports, meaning natural gates, open between higher valleys on either side. Early roman roads crossed the range close to both ends, western Roncevaux pass at 1057 m (later followed by Compostelle pilgrims) and eastern Perthus pass, 290 m. First railway tracks between France and Spain were only at the ends, along both coasts. In between, there are higher road passes at Somport 1632, and Pourtalet, 1794 m in the west, and Puymorens, 1921 m, la Quillane, 1713, and la Perche, 1581, in the east. In the central part, two very high road passes are la Bonaigua (2072 m), linking the Val d'Aran to mainland Spain, and Envalira (2409 m), linking France to Andorra Principality.

First trans-Pyrenees tunnels were bored for rail tracks in the first decades of 20th century, mostly because the coastal tracks were not convenient for short journeys from

France et l'Espagne étaient situées également aux deux extrémités, le long des côtes. Entre les deux, se trouvent des cols routiers plus élevés : le Somport (alt : 1632m) et le Pourtalet (alt : 1794m) à l'ouest et le Puymorens (alt : 1921m), la Quillane (1713 m) et la Perche (alt : 1581 m) à l'est. En partie centrale, se trouvent deux cols routiers très élevés : la Bonaigua (alt : 2072 m) qui relie le Val d'Aran à l'Espagne et l'Envalira (alt : 2409 m) qui relie la France à la Principauté d'Andorre.

Les premiers tunnels transpyrénéens furent réalisés pour y faire passer des voies ferrées dans les premières décennies du 20^{ème} siècle, surtout parce que les routes côtières n'étaient pas adaptées à des voyages courts entre Toulouse, Tarbes et Pau, au Nord, Barcelone, Lerida et Saragosse au Sud. Dès 1904, trois franchissements par voie ferrée ont été planifiés et deux d'entre eux réalisés : le tunnel du Somport (alt : 1183 m et 7875 m de longueur) percé en 1912, qui n'est plus en service aujourd'hui et, en 1929, le tunnel de Puymorens (alt : 1524 m et 5414 m de longueur) sur le tracé le plus court entre Toulouse et Barcelone ;

le troisième tunnel est toujours en attente. Les tunnels routiers sont plus récents ; deux d'entre eux sont parallèles aux tunnels ferroviaires et situés sur le tracé de routes principales et trois autres sont situés en partie centrale : Vielha (alt : 1630 m et 5200 m de longueur), Aragnouet-Bielsa (plus élevé avec une altitude de 1700-1800 m mais plus court avec une longueur de 3070 m) et, encore plus élevé, l'Envalira (alt : 2000 m et 2900 m de longueur). Il faut noter que, souvent, la frontière ne correspond pas à la ligne de partage des eaux : du plateau de Cerdagne, entre les cols du Perthus et de Puymorens, les cours d'eau s'écoulent vers l'Espagne et, inversement, la haute vallée de la Garonne, le Val d'Aran, appartient à l'Espagne (avec deux liaisons, le col de Bonaigua et le tunnel de Vielha).

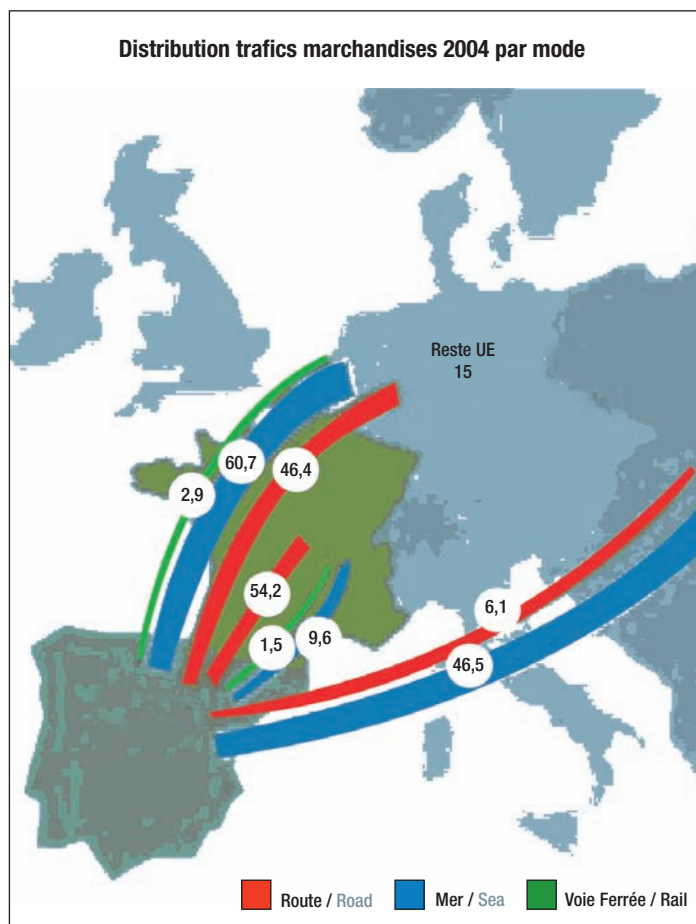


Figure 2 : Trafic du fret entre le nord et le sud du massif des Pyrénées : par mer 51%, par route 47%, par voie ferrée 2% / Freight traffic between north and south of Pyrenees range : sea 51%, road 47%, rail 2%.

3.2 - Le projet de ligne de fret centrale

Les deux voies ferrées côtières sont trop sinueuses pour les trains modernes et les deux lignes transpyrénéennes citées plus haut ont des pentes trop raides, avec même des tunnels hélicoïdaux. Le trafic commercial transfrontalier augmente chaque année car il ne concerne pas seulement l'Espagne et le Portugal mais aussi l'ensemble des pays africains ! La figure 2 montre la répartition des flux de transport entre la mer, le rail et la route ; en 2007, il y a eu en moyenne 18500 camions par jour. Depuis l'ouverture du train à grande vitesse (AVE pour alta velocidad) entre Madrid et Barcelone, l'Espagne et la province d'Aragon poussent la France pour étudier et construire ensemble une voie ferrée réservée au fret reliant

Toulouse, Tarbes et Pau à Barcelone, Lerida et Saragosse. As soon as 1904, three rail crossings had been planned, and two of them built: through the Somport tunnel (7 875 m long at 1183 el.) bored through in 1912 (and no longer in use), and the Puymorens (5 414 m at 1524 m el. in 1929) on the shortest track from Toulouse to Barcelone; the third one yet pending. Road tunnels are younger, two of them paralleling the rail ones, along major roads, three within the central section: Vielha (5200 m at 1630), Aragnouet-Bielsa (higher 1700-1800, and shorter, 3070 m), and higher again, Envalira 2900 m at 2000 m el.

It is noteworthy that the state border often deviates from the hydrological divide: From the Cerdagne plateau, between Perthus and Puymorens

passes, rivers flow to Spain and conversely the higher Garonne valley, Val d'Aran, belongs to Spain (with two links, Bonaigua pass and Vielha tunnel).

3.2 - The central freight line project

Both coastal tracks were too winding for modern trains, and both trans Pyrenees tracks quoted above have too steep gradients, and even helical tunnels. The commercial traffic through the border increases every year, as it not only concerns Spain and Portugal, but also now the whole Africa!; Figure 2 shows the way it is split between sea, rail and road; in 2007, the average number of trucks per day was 18 500. Since the opening of a fast train track (AVE, alta velocidad) between Madrid and Barcelona, Spain and Aragon province press France to study and build together a freight rail link between Zaragoza and the French rail grid through a new tunnel under the central part of the range. Such a long and deep tunnel would belong to the family of the new Swiss tunnels Löt-schberg and Gothard, the former open June 2007, the latter 100 % bored, to be commissioned in 2016 (Duffaut 2004).

The deepest valley of Gave de Pau, south of Lourdes looked first as the best location on the north side of the range, but the many communities along it refused any intrusion of a track inside their narrow valley. An alternative 50 km tunnel has been proposed close to the next valley Neste d'Aure, entering the range south of Lannemezan station. This valley is less famous, it has lost most of small factories which relied on the power from the river, and later its higher section has been turned into famous ski resorts. The next sections apply to the improvements which could be proposed to the communi-

Saragosse au réseau français par un nouveau tunnel situé sous la partie centrale de la chaîne. Un tel tunnel de grande longueur à grande profondeur serait comparable aux nouveaux grands tunnels suisses du Lötschberg et du Gothard, le premier ouvert à la circulation en juin 2007, le second étant désormais percé et sa mise en service prévue pour 2016 (Duffaut 2004). La vallée la plus profonde du Gave de Pau, au sud de Lourdes, a paru d'abord être la plus adéquate sur la face nord du massif, mais les nombreuses communes de cette étroite vallée se sont opposées à ce qu'une voie ferrée y soit construite. Une autre solution fut alors proposée près de la vallée adjacente de la Neste d'Aure consistant en un tunnel de 50 km de longueur pénétrant le massif montagneux au sud de Lannemezan ; cette vallée est moins renommée, elle a perdu la plupart des petites usines alimentées en énergie par la rivière et, plus tard, sa partie supérieure a été convertie en stations renommées de sports d'hiver. Ce qui suit traite des améliorations qui pourraient être proposées aux communes le long de cette étroite vallée ainsi qu'à la station de sports d'hiver de Saint-Lary.

A l'entrée sud, près de Bielsa dans la vallée du rio Ara vers 900 m d'altitude, la pente du tunnel montera du nord au sud et il est préférable d'établir l'entrée nord le plus haut possible. Grâce au plateau de Lannemezan (réellement un immense cône alluvial, très visible sur la figure 1), la voie ferrée pourrait facilement atteindre une entrée à 660 m d'altitude. Plutôt que des voies à niveau au fond de la vallée, le tracé en tunnel se situerait dans son flanc droit puis la recouperait vers Saint-Lary à faible profondeur ou même à niveau, avant de franchir la ligne de crête. Ce projet ressemble à celui du projet Lyon-Turin Ferroviaire sous les Alpes, qui suit la rive droite de l'Arc de Saint-Jean-de-Maurienne à Modane, avec une station

de services et secours située en profondeur sous Modane (Duffaut, 2004). Mais il présente de nombreux avantages bien réels :

- La gare de Saint-Lary sera proche de la surface, voire en surface même, et non à 300 m de profondeur comme celle de Modane (desservie par un long tunnel d'accès déjà creusé) ; les interventions de maintenance et de secours en cas d'accident seront plus faciles et plus rapides.
- Sur les 15 premiers kilomètres, la partie nord sera divisée en plusieurs tunnels courts par les vallées de petits affluents, évitant ainsi les fenêtres d'accès descendantes (déjà forées également), et les travaux se dérouleront en dehors du fond de la vallée.
- Dans l'intervalle, le niveau du tunnel pourrait être accessible facilement par des galeries d'accès en pente douce.
- La zone la plus profonde, sous la frontière, serait plus courte qu'entre Modane et l'Italie.

3.3 - Améliorations sur la partie septentrionale

Les nombreuses petites usines qui ont donné à la vallée son essor économique du 18^{ème} au 19^{ème} siècle n'ont pas pu se développer par manque d'espace ; ainsi, lorsque, plus tard, l'électricité est arrivée, elles se sont déplacées et la vallée a perdu ses emplois. Aujourd'hui il est facile et peu coûteux d'utiliser le sous-sol pour fournir, autant que de besoin, des espaces à l'industrie. Le temps de la construction de tunnels pourrait être le temps de la conquête de nouveaux espaces dans chaque flanc de la vallée pour des entrepôts, des usines, etc. ne laissant en surface que les activités à plein temps. Une autre ressource de la vallée pourrait être l'exploitation du marbre ; d'anciennes carrières pourraient revivre grâce aux moyens mis en œuvre pour les travaux de tunnels.

ties along the narrow valley and below Saint-Lary winter resort. As the southern portal, around Bielsa in the rio Ara valley may be about 900 m el., the general gradient of the tunnel is from north to south and it is better to site the northern portal the higher possible. Thanks to the Lannemezan plateau (truly a huge alluvial fan, well conspicuous on figure 1), the tracks may easily reach a portal at el. 660 m. Instead of tracks at grade along the valley, the tunnel will follow inside its right side, before crossing it about Saint-Lary at a small depth below or even at grade, and finally crossing the high mountain crest. The scheme looks like the main tunnel of the Lyon-Turin-Ferroviaire project under the Alps, which follows the right side of the river Arc upstream from Saint-Jean-de-Maurienne to Modane, with a service and safety station deep below Modane (Duffaut, 2004). Really, it has many advantages over its model:

- The Saint-Lary station will be close to the surface, or even at grade, instead of being 300 m below, served by a long access tunnel (yet bored); maintenance interventions and rescue in case of an accident will be far easier and faster.
- Along the first 15 km, the northern section will be divided in many short tunnels thanks to small valleys of tributaries, instead of being reached by sloping down adits (also yet bored) and the worksites will be out of the valley floor.
- In between, the tunnel level may be easily reached by gently sloping adits.
- The deepest section, under the border, will be shorter than between Modane and Italy.

3.3 - Improvements along the northern section

The many small factories which gave its economic momentum to the valley

from the 18 and 19th centuries have suffered for lack of space to grow; so, when electric power became available farther, they went out and the valley lost its jobs. Now it is easy and cheap to use the underground to provide industry with new spaces, as much as it may be needed. The time of tunnel works could be a time to conquer new spaces under both sides of the valley, for warehouses, machines and service spaces, only keeping the full time work places over the surface. Another resource of the valley was marble. Ancient quarries could be revived thanks to facilities provided by the tunnel worksites.

3.4 - The Saint-Lary station

At Saint-Lary, the valley widens into a glacial ombilic at the confluence of many smaller valleys from west and south. The city developed as the main winter sports resort of the French side of Pyrenees, with some satellite ski fields. The main interest of the new tracks is to provide the city with a rail station, served as well from France as from Spain, from Paris and Madrid.

One may recall the Puymorens pass ski fields in the (nineteen) twenties, when an underground station had been designed in the middle of the rail tunnel, serving the pass level (and hotel) through a 300 m lift. It was too early for such a project and 90 years later in Switzerland, the easternmost Grisons canton revived the concept under name Porta Alpina (das Tor zur Alpenwelt, in hochdeutsch language, instead of Romansh). The latest Gothard rail tunnel is being bored 800 m below the snowfields of Sedrun and Tujetsch in the upper Rhine valley, with a multifunction station at the base of a complex of two lifts, linked to the valley through a long tunnel. The worksite is used as a central "portal" for construction

3.4 - La station de Saint-Lary

A Saint-Lary, la vallée s'élargit en un ombilic glaciaire au confluent de plusieurs petites rivières venant de l'ouest et du sud. La ville s'est développée au point de devenir la principale station de sports d'hiver des Pyrénées françaises. Le principal avantage du nouveau tracé est de donner une gare à Saint-Lary, desservie aussi bien à partir de la France que de l'Espagne, de Paris comme de Madrid.

On peut rappeler ici le cas des pistes de ski du col de Puymorens, dans les années 20, quand il avait été projeté de construire une gare souterraine au milieu du tunnel ferroviaire et qui aurait desservi le col (et l'hôtel) par un ascenseur de 300 mètres. Il était alors trop tôt pour un tel projet mais, 90 ans plus tard, le canton des Grisons, situé le plus à l'est de la Suisse, a fait revivre ce concept sous le nom de Porta Alpina (das Tor zur Alpenwelt en suisse allemand). Le nouveau tunnel ferroviaire du Gothard est foré à 800 mètres de profondeur sous les stations de Sedrun et Tujetsch dans la haute vallée du Rhin, avec une gare multifonctions sous un complexe de deux ascenseurs connectés à la vallée par un long tunnel. Le chantier est utilisé comme un accès central pendant la construction du tunnel double et la gare sera plus tard consacrée surtout à la sécurité. Le supplément de coût pour utiliser aussi la gare pour les passagers étant trop élevé, le projet a été abandonné il y a quelques années.

A Saint-Lary, la gare pourrait aisément

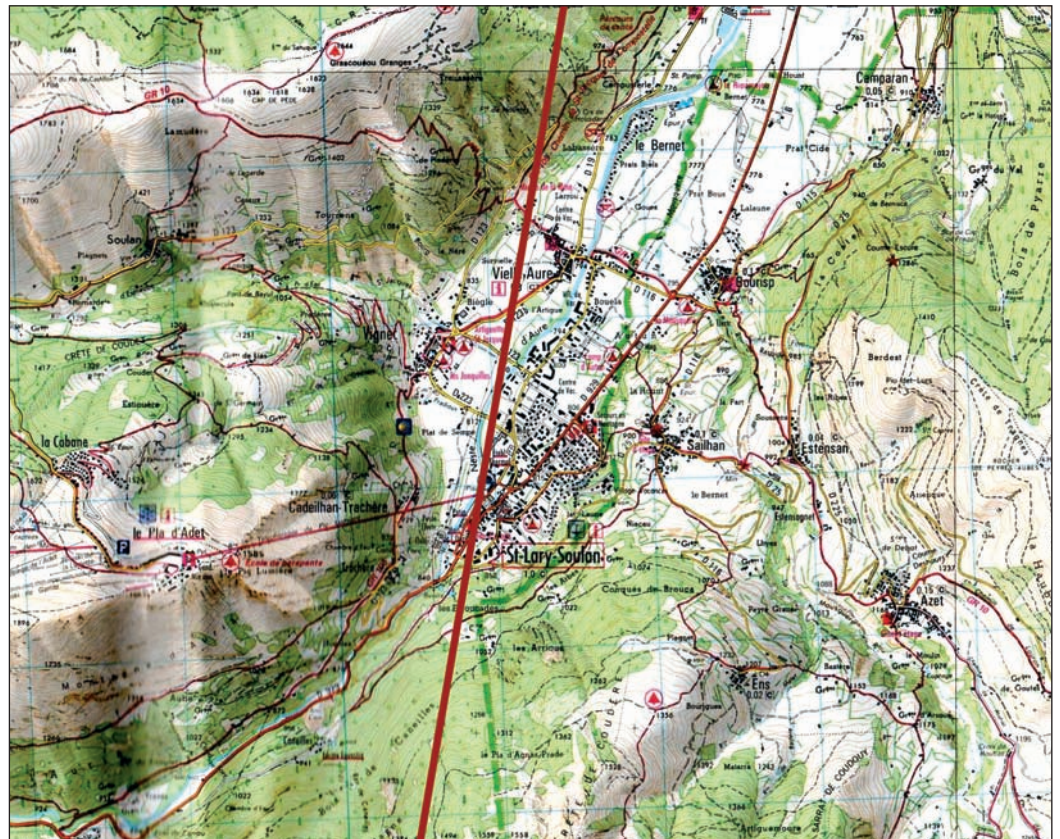


Figure 3 : Tracé indicatif du tunnel sous la station de Saint Lary / Tentative line of the tunnel under Saint Lary ski resort.

accueillir le trafic voyageurs, le moins profond étant le plus facile. Afin de réduire les nuisances sonores des trains, le mieux serait que les voies soient en tranchée couverte, laquelle pourrait accueillir également une autoroute souterraine à travers toute la vallée (à ce jour, le trafic routier de et vers l'Espagne par le tunnel d'Aragouet-Bielsa contourne le centre de la vieille ville).

En outre, après achèvement des travaux, de nombreux aménagements et bâtiments de chantier, en surface ou à faible profondeur, pourraient être transmis à la communauté. (Fig. 3).

of the double tunnel and the station will later mainly devoted to safety. The extra cost of using it also as a passenger station was too high and the project was abandoned a few years ago.

At Saint-Lary, the station could easily accommodate passenger traffic, the more easily the shallower. To minimize the noise from the trains, the best position would be inside a trench; and the same trench could accommodate a hidden motorway through the whole valley (up to now, the road traffic from and to Spain through the Aragnouet-Bielsa tunnel

follows a detour circuit around the old city centre).

In addition, a lot of worksite facilities and buildings, on the surface and in shallow underground, could be transferred to the community, after completion of works. (Fig.3).

4 - Conclusions

Nous avons montré des exemples d'aménagements souterrains qui remplissent plus d'une fonction. Trop souvent, les diverses autorités sont réticentes à se concerter, chacune ayant ses propres problèmes, son propre planning, son propre budget. Cependant, il est préférable d'étudier en commun les projets non seulement pour des réseaux relativement peu importants mais aussi à plus grande échelle, pour des

4 - Conclusions

Examples have been given of underground works answering more than one function. Too often, various authorities are reluctant to work together, each one has its own problems, its own agenda, its own budget. Nevertheless, in many cases it is better to share projects, not only for rather small utilities but also at a higher scale, in urban developments and in the country. The public interest is not the sum of many individual

aménagement urbains ou régionaux. L'intérêt public n'est pas la somme de plusieurs intérêts individuels, fussent-ils tous publics, mais l'intégration de tous les besoins, ce qui peut coûter beaucoup moins cher (mais nécessite davantage de coopération entre les divers organismes).

On sait que tout propriétaire, public ou privé est jaloux de ses droits, surtout de ses droits de propriété ; suivant le principe nimby, tant les agriculteurs que les communes sont portés à refuser ce qui ne leur apporte aucun bénéfice (c'est vrai aussi pour les communes urbaines). Le problème est davantage psychologique que juridique : l'expropriation est ressentie comme un vol ou un viol, quelle que soit la contrepartie financière. Ils ignorent que le Droit français (en réalité le Droit romain) étend leur propriété jusqu'au centre de la Terre, mais ils sont attachés à leur terrain par des liens très anciens.

Pour être accepté, tout nouvel aménagement doit apporter un plus à ses voisins. Il n'est pas suffisant d'expliquer pourquoi l'intérêt public justifie une expropriation. Pour changer la mentalité des gens et des communautés, tout nouveau projet d'infrastructure publique doit apporter à chaque communauté impliquée de nouvelles opportunités d'aménagements utiles qui, pendant longtemps après la fin des travaux, amélioreront leur qualité de vie tant au niveau familial que communal. De nombreux aménagements pourraient être plus économiques et mieux acceptés s'ils étaient multifonctionnels. Cette règle est obligatoire en souterrain où les niveaux de coûts et de risques sont plus élevés. ♦

interests, even all of them public, but the integration of all of them, which may cost much less (but needs more collaboration between offices in charge).

One knows that any landowner, public or private, is jealous of his rights, the more of his property rights. The nimby principle may read "do not touch my underground space". As well farmers as communities, they tend to refuse projects which do not bring them any benefit (not only rural communities but also urban ones). The problem is more psychological than legal: expropriation often is felt as a theft or violation, whatever the money involved. They do not know the French law (really the Roman law) which states that their property extends to the centre of the Earth, but they keep tied to their ground by very ancient bonds. In order to be accepted, any new facility must do something more for its neighbours. It is not enough to explain why a higher public interest may need expropriation. In order to change the mind of people and of communities, any public infrastructure must offer each community new opportunities of useful facilities which will improve their way of life as well at family and community level, long after completion of the works. Most facilities may be cheaper and better accepted if they are multipurpose. This rule is mandatory underground, where cost and hazard levels are higher. ♦

Références / References

- Collectif, 2005. Guide pratique des galeries multiréseaux –Clé de Sol, + CDRom
- Duffaut, P., 2004. Bref rappel historique, pp 20-22 & Le tunnel de base Maurienne-Ambin, pp. 38-39, in Dossier collectif, Tunnels transalpins. Géochronique, 92, pp 20-50.
- Duffaut, P., Vion O., 2008. Historique comparé des tunnels sous les Alpes et les Pyrénées. Tunnels et Ouvrages souterrains, 211, pp 15-22.